

钢筋混凝土房屋抗震设计

胡庆昌

地震出版社

1991

钢筋混凝土房屋抗震设计

胡庆昌

地震出版社

1991

内 容 简 介

本书为配合《建筑抗震设计规范 (GBJ11-89)》的实施而编写。全书共七章、五个设计实例及八个附录。主要介绍钢筋混凝土房屋抗震设计的若干重要概念及四种结构体系(框架结构、框架剪力墙结构、剪力墙结构、框筒结构及筒中筒结构)的计算及构造措施。

本书以设计概念及解决抗震设计中的关键问题为主,对结构的一般内力分析则从略。在设计方法上既反映国内有关科研成果,也反映国外的设计经验。

钢筋混凝土房屋抗震设计

胡庆昌

责任编辑:蒋乃芳

责任校对:孔景宽

地震出版社出版

北京民族学院南路9号

北京印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

850×1168 1/32 7.875印张 210千字

1991年3月第一版 1991年3月第一次印刷

印数: 00001—10000

ISBN 7-5028-0423-4/TU·28

(811) 定价: 4.50元

抗震设计丛书编委会

主 编：叶耀先

副主编：周炳章 魏 珪

委 员：文良谟 叶耀先 刘大海
沈世杰 宋绍先 周炳章
周锡元 胡庆昌 胡德祥
徐宗和 谢君斐 蒋蕊秋
蓝 天 裘民川 魏 珪

序 言

法国哲学家华莱理曾经说过：“科学就是把许多成功的秘诀收集在一起”。我们这套《抗震设计丛书》就是把国内外成功的、经过实践和时间检验的、能保障房屋和工程结构地震安全的秘诀收集到一起，供广大从事抗震设计、研究、教学以及参考与抗震防灾决策的有关人员参考。

地震灾难主要来源于房屋和工程结构的破坏或倒毁。以往强烈地震的后果表明，凡按良好的规范设计，有严格的施工监理，且地动参数与设计时采用的参数相适应的房屋或工程结构极少受害。这说明：强烈地震时房屋和工程结构的破坏虽不能避免，但却可以通过提高对抗震的理性认识，精心设计和精心施工而得以减轻；良好的抗震设计是保障新建房屋和工程结构地震安全的关键措施。

抗震设计所采用的地震荷载或地震作用是地震诱发的。所以，抗震设计必须以较大的破坏将发生在最近将来的概率为依据。否则，是像墨西哥地震工程专家 E. 罗森布卢斯所说的那样：“为了满足我们的要求，人类所有财富可能都是不够的，大量的一般结构将成为碉堡”。抗震设计的目标是小震不坏，中震能修，大震不倒。而一般静力设计的目标则是防止裂缝或破坏。抗震设计的这个特点要求设计人员不仅要有丰富的抗震设计经验，而且要掌握工程地震和抗震设计的知识与原理，仅仅会照套抗震设计规范是不可能做出经济、合理、安全的抗震设计的。为此，本丛书系统地介绍了工程地震知识，抗震设计原理，抗震设计经验和新颁的抗震设计规范，以适应减轻地震灾害的需要。

叶耀先

前 言

钢筋混凝土房屋具有造价低、耐久性能好及防火等主要优点。在合理的设计及合格的施工条件下可以保证有良好的抗震性能。近20余年来,由于吸取了多次大地震的震害教训并从各类钢筋混凝土结构抗震性能大量试验研究中取得了丰富经验,多层和高层钢筋混凝土结构的抗震设计方法有了很大进展。

钢筋混凝土房屋的结构体系包括框架(含填充墙框架体系及板柱体系)、框剪(含内筒外框)、剪力墙(含部分框支体系)及筒体(包括框筒及筒中筒体系)等。

钢筋混凝土房屋还包括装配整体式结构。为了满足强度或延性的特殊要求,有时采用钢-混凝土组合构件,如不规则建筑的底层柱,突出屋顶的塔楼,提高短柱或短梁的受剪承载力以及增强剪力墙边缘的稳定等。

建筑抗震设计除了根据计算分析采取合理的构造措施外,掌握正确的设计概念也是非常重要的。本书主要是在《建筑结构设计规范(GBJ11-89)》、《混凝土结构设计规范(GBJ10-89)》和《钢筋混凝土高层建筑结构设计与施工规程(JGB3-89)》的基础上,结合工程设计中的实践经验而编写的,其目的是使工程设计者既能掌握整体结构的抗震设计概念,又对具体设计方法和构造措施有所遵循。

为了使设计者在研究方案和初步设计阶段掌握结构的可行性和提供专业必要的结构数据,书中给出了有关简化计算方法和图表。

基础结构的抗震设计是一个非常重要而易于忽略的问题,本书对基础结构抗震设计的若干重要概念将着重予以说明。

本书设计实例由我院李国胜同志编写,有关框筒结构的简化计算采用了我院朱幼麟同志、崔鸿超同志及张美励同志的研究成

目 录

前言

第一章 钢筋混凝土房屋抗震设计的若干重要概念·····	(1)
第一节 几个重要概念·····	(1)
第二节 合理的屈服机制及屈服过程·····	(2)
第二章 抗震结构体系及其分析·····	(5)
第一节 框架结构体系·····	(5)
第二节 框架剪力墙结构体系·····	(8)
第三节 剪力墙结构体系·····	(14)
第四节 框筒结构及筒中筒结构·····	(17)
第三章 抗震设计的一般要求·····	(21)
第一节 抗震等级·····	(21)
第二节 房屋高度的规定·····	(22)
第三节 规则结构与不规则结构·····	(23)
第四节 结构分段及防震缝·····	(26)
第五节 结构的整体稳定·····	(29)
第六节 结构的变形·····	(31)
第七节 结构的延性·····	(35)
第八节 基础结构的抗震设计·····	(41)
第四章 框架结构的抗震计算与构造·····	(52)
第一节 一般要求·····	(52)
第二节 框架梁的抗震设计·····	(57)
第三节 框架柱的抗震设计·····	(66)
第四节 框架梁柱节点·····	(75)
第五节 砖填充墙框架结构的设计计算·····	(80)
第六节 浅梁板柱框架·····	(83)
第七节 装配整体式框架抗震设计的若干要点·····	(84)
第五章 剪力墙结构的抗震计算与构造·····	(89)

第一节	一般要求	(89)
第二节	剪力墙结构的内力分析	(92)
第三节	剪力墙结构的截面设计	(102)
第四节	剪力墙结构的构造要求	(111)
第五节	部分框支剪力墙结构的设计	(115)
第六章	框架剪力墙结构的抗震计算与构造	(124)
第一节	一般要求	(124)
第二节	框剪结构的内力分析	(127)
第三节	框剪结构的截面计算与构造	(129)
第四节	带水平加强层的内筒外框结构的抗震近似 计算	(130)
第七章	在侧力作用下框筒及筒中筒结构的近似分析	(137)
第一节	框筒结构的分析方法与受力特性	(137)
第二节	框筒结构在侧力作用下的近似计算	(140)
设计实例		(154)
实例一	多层钢筋混凝土框架	(154)
实例二	高层钢筋混凝土框架剪力墙结构	(164)
实例三	剪力墙结构	(179)
实例四	框筒结构(等代筒体法)	(188)
实例五	框筒结构(等代柱法)	(194)
附录		(201)
附录一	结构在水平地震力作用下扭转效应的近似 计算	(201)
附录二	与主体结构相连部件地震作用的近似计算	(204)
附录三	钢筋混凝土房屋基本周期的近似计算	(206)
附录四	地震作用下钢筋混凝土框架内力的近似分 析与变形计算	(208)
附录五	确定框剪结构剪力墙刚度的简化计算	(221)
附录六	框架剪力墙协同工作体系的近似计算	(223)

附录七	框支剪力墙的近似计算·····	(231)
附录八	考虑梁的约束作用时框剪结构体系的判别 方法·····	(235)
参考文献	·····	(239)

第一章 钢筋混凝土房屋抗震设计的若干重要概念

为了达到抗震要求，钢筋混凝土房屋结构的承载力、刚度、稳定、能量吸收及能量耗散等性能，均应满足地震作用下的要求。

由于以上供给和需要的两方面存在很多不确定因素¹⁾，而两方面的因素又是互相影响的(例如，地震作用程度会影响构件的设计，而结构构件设计构造的不同又将影响地震对结构的效应)，因此，孤立地考虑任何一方面会导致不合理的或不经济的设计。截至目前，抗震设计只能说是一种艺术，很大程度靠判断，而判断能力主要来自已往的震害分析和试验研究成果。这种工程判断称之为概念设计，它是抗震设计很重要的一部分。在钢筋混凝土房屋抗震设计中，除了经常提到的合理结构选型和布置以及采取正确的构造措施等原则以外，更要注意以下几个重要概念。

第一节 几个重要概念

第一，承载力、刚度和延性要适应结构在地震作用下的动力要求，并应均匀连续分布。在一般静力设计中，任何结构部位的超强设计都不会影响结构的安全，但在抗震设计中，某一部分结构设计超强，就可能造成结构的相对薄弱部位。因此在设计中不合理的任意加强以及在施工中以大代小改变配筋，都需要慎重考虑。

第二，采取有效措施防止过早的剪切、锚固和受压等脆性破坏。在这方面，“约束混凝土”是非常重要的措施。

1) Seismic Performance of Reinforced Concrete Structures, Behavior and Design of Reinforced Concrete Structures, V. V. Bertero, July 1984.

第三，尽可能设置多道抗震防线。强烈地震之后往往伴随多次余震，如只有一道防线，在首次破坏后再遭余震，将会因损伤积累而导致倒塌。适当处理构件的强弱关系，使其在强震作用下形成多道防线，是提高结构抗震性能、避免倒塌的有效措施。

第四，在地震作用下节点的承载力应大于相连构件的承载力。当构件屈服、刚度退化时，节点应能保持承载力和刚度不变。

第五，地基基础的承载力和刚度要与上部结构的承载力和刚度相适应。

第六，合理控制结构的非弹性部位(塑性铰区)，实现合理的机制。

第七，结构单元之间应遵守牢固连接或彻底分离的原则。高层建筑宜采取加强连接的方法，而不宜采取分离的方法。

第二节 合理的屈服机制及屈服过程

钢筋混凝土房屋的抗震设计要考虑某些结构构件进入非弹性。为了掌握结构的抗震性能，尽可能做到经济合理的设计，必须研究在地震作用下结构的屈服部位、屈服过程及最后形成的屈服机制^[1]。

多层或高层钢筋混凝土房屋可以归纳为两类屈服机制，一种为总体机制(图 1-1)，另一种为楼层机制(图 1-2)。其他机制均可由这两种机制组合而成。

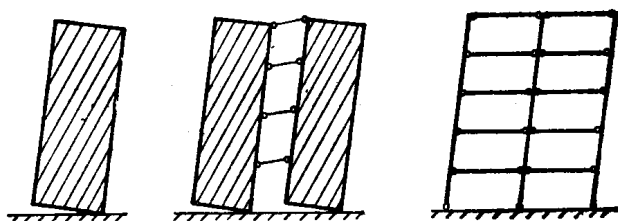


图 1-1 总体机制

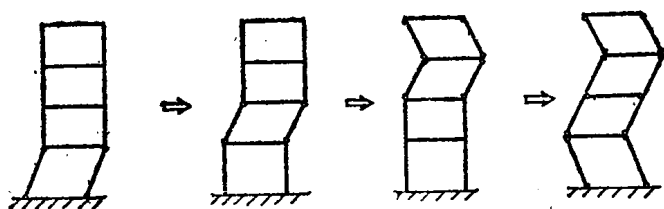


图 1-2 楼层机制

典型的楼层机制表现为在地震作用下仅竖向构件屈服，而横向构件处于弹性。

结构的自由度与层数相同。总体机制则表现为所有横向构件屈服而竖向构件除根部外均处于弹性，总体结构围绕根部作刚体转动，因此从结构总体而言仅有一个自由度。

以框架结构为例，层间位移及延性系数的分布对于楼层机制（柱铰机制）是非常敏感的，塑性变形集中现象随着地面运动的不同可能在不同楼层发生，而总体机制（梁铰机制）则表现完全不同。由于只有一个自由度，层间位移的变化是很均匀的，而且对于地面运动很不敏感，这样就可以减少一部分不确定因素的影响，使设计者掌握较多的主动权。这也是为什么要在设计上采取措施控制结构的屈服部位，促使实现预期理想机制的主要原因。

理想的总体机制也就是最少自由度的机制，一方面防止塑性铰在某些构件上出现，另一方面迫使塑性铰发生在其他次要构件上，同时要尽量推迟塑性铰在某些关键部位的出现，例如框架柱的根部、双肢或多肢剪力墙的根部等。

在地震作用下首先进入屈服的构件称为主要耗能构件，这些构件在屈服进展过程中受约束于其他处于弹性的构件，这一阶段称为有约束屈服阶段。抗震设计就是要设法延长这一阶段以提高结构的抗震性能。这种由弹性阶段到有约束屈服阶段（弹塑性），再到无约束屈服阶段（全塑性）直到最后破坏，是在地震作用下结构表现的全过程（图 1-3）。

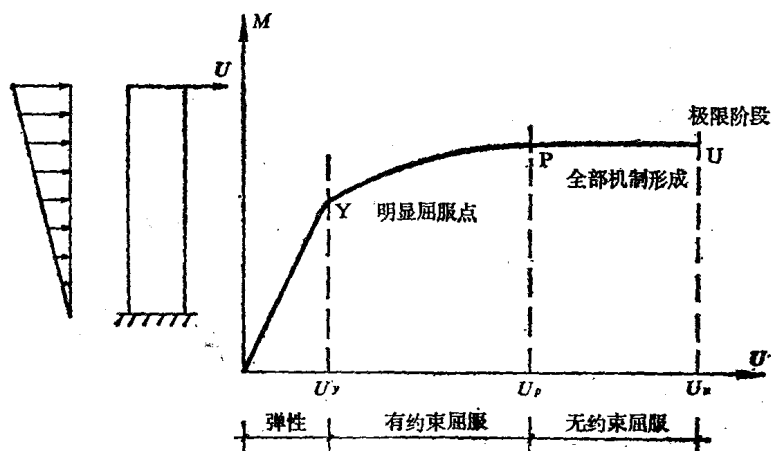


图 1-3 屈服历程、抗力与位移关系

基于上述要求，选定主要耗能构件要注意以下几点：

第一，主要耗能构件的屈服过程应尽量保持受约束屈服，且具有良好的延性和耗能性能。

第二，为了保证主要耗能构件的延性，应选用承受轴向应力较小的构件，不宜选用承受竖向静荷载的主要构件。为了提高耗能能力，构件应具有相当的刚度。

第三，主要耗能构件耗能部位的破坏形态应当是弯曲破坏而不是剪切破坏，为此在进行构件承载力设计时，应按不同承载力的要求进行设计。

第二章 抗震结构体系及其分析

为了做到具有良好抗震性能及经济合理的设计，正确选用结构体系是非常重要的。选定结构体系要考虑多方面的因素，例如使用要求、地震烈度、房屋高度、建筑布置、场地和地基条件等。以下结合几种常用的结构体系进行分析。

第一节 框架结构体系

框架结构为双向或多向平面框架组成的空间框架。采用框架结构可获得较大空间，有利于公用建筑设计。按照不同构造，框架结构可区分为刚接延性框架和半刚接框架。框架结构体系可全部采用刚接延性框架，此时梁柱和节点的设计构造有较高的要求。对于低烈度区及场地较好的中等烈度区可采用刚接延性框架与半刚接框架的混合体系。此时，抗侧力及保证侧向刚度主要由刚接延性框架承担，而半刚接框架主要承受竖向荷载，同时考虑结构进入非弹性阶段，由于侧移对柱引起附加内力的影响。

半刚接框架，包括板柱体系，可减少梁截面高度，有利于争取楼层空间和简化构造。考虑抗扭作用，这种混合体系的周边框架应采用刚接，同时要求有整体性较好的楼盖。这种体系也不宜用于体型和平面形状复杂、扭转影响较大的情况。

对抗震框架，首先推荐采用现浇混凝土。低烈度区以及场地较好的中等烈度区可以采用装配整体式框架结构。平面、体型复杂的框架结构的楼盖宜采用整体浇筑或后浇叠合作法，以保证楼盖刚性和结构的整体性。当采用装配式楼盖时，板与板、板与梁均应有良好的连接。采用条形预制楼板时，可有横向主框架或纵向主框架两种布置方案。由于前者楼盖的整体刚度较好，除特殊情况外一般不推荐后者。

在同一结构单元应尽量避免楼层标高有突变。楼梯间是抗震的不利部位。在强震作用下楼梯结构起支撑作用，从而引起应力集中造成连接部位的破坏。为此可以采用楼梯踏步板上端为铰接，下端为滑动支承的作法，以减小楼梯间的刚度(图 2-1)。

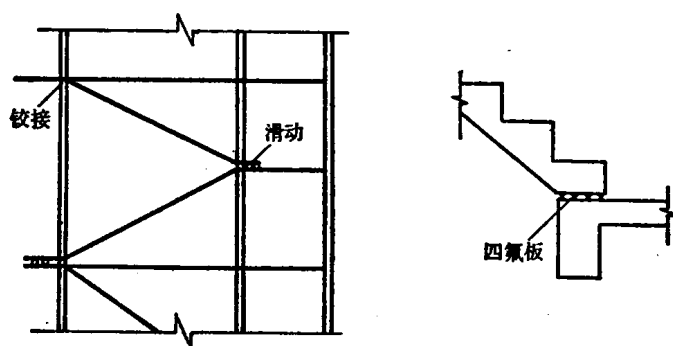


图 2-1 减小楼梯间刚度的一个途径

楼梯休息板宜用柱支承，而不宜用折梁作法。主要承重柱不宜用梁支承。采用钢筋混凝土作为电梯间的围护墙时，电梯间宜对称布置，否则应采取构造措施以减小扭转的不利效应(图 2-2)。局部突出屋面的结构不宜布置在房屋尽端。

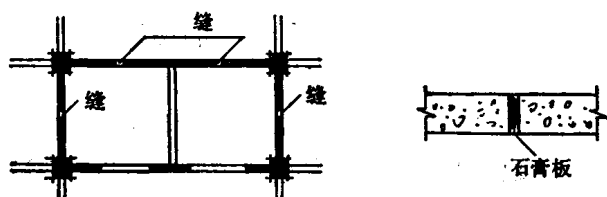


图 2-2 楼梯间墙角竖缝

用坚实材料砌筑的填充墙对框架结构有不利和有利两方面的影响。填充墙如布置及构造合理，可以减轻地震对框架的作用。中等烈度区及低烈度区层数不多(五至八层)的框架结构可以利用

部分实心砖砌填充墙作为抗侧力构件。

填充墙的存在和设置不当，在地震作用下可能给框架结构带来以下不利的影响：

- (1) 不对称布置填充墙造成整体扭转。
- (2) 沿高度填充墙布置不连续形成薄弱层。
- (3) 填充墙的斜向支撑作用对梁端、柱端引起附加剪力(图 2-3)。

(4) 对填充墙的相连柱引起附加轴力。1967 年委内瑞拉加拉加斯地震和 1971 年美国圣费尔南多地震都曾发生填充墙框架柱受压破坏的现象。

- (5) 柱受填充墙的约束而形成短柱破坏(图 2-4)。

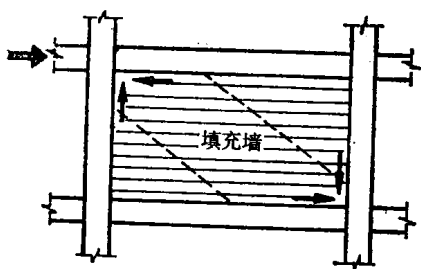


图 2-3

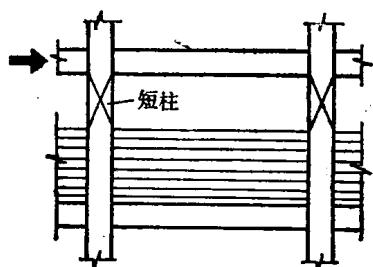


图 2-4

(6) 地震力分配的改变。在地震作用下，由于填充墙参加整体工作，其刚度和强度对框架地震力的分配可能带来较大影响。例如一栋二十层的框架结构在 4 层以上有砖砌填充墙，4 层以下空旷。砌墙前自振周期 $T_1=1.96\text{ s}$ ，基底剪力 $V_0=21\times 10^6\text{ N}$ 。砌墙后， $T_1=1.2\text{ s}$ ， $V_0=31\times 10^6\text{ N}$ 。图 2-5 表示各层框架承担的地震剪力，可以看出，4 层以上填充墙承受大部分地震剪力。4 层以下由于地震剪力增大且无填充墙，因此框架承担的地震剪力增大了 50% 左右^[2]。这只是按静力分析，还未考虑由于刚度突变带来的动力效应。

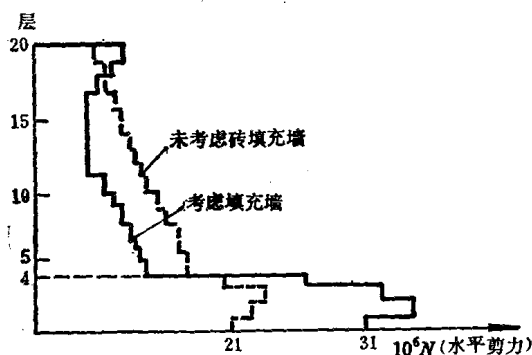


图 2-5

正确的处理填充墙的作用有两种途径；一是利用填充墙的有利作用，此时要合理布置并在设计构造上充分考虑其对框架的影响。具体计算方法见第四章；另一是尽量避免填充墙带来的不利影响，如采用柔性连接的轻质隔墙及柔性连接的外挂墙板等。此时要考虑连接件有足够的承载力和变形能力。当采用钢筋混凝土现浇裙墙时要考虑避免形成短柱的有效措施(图 2-6)。

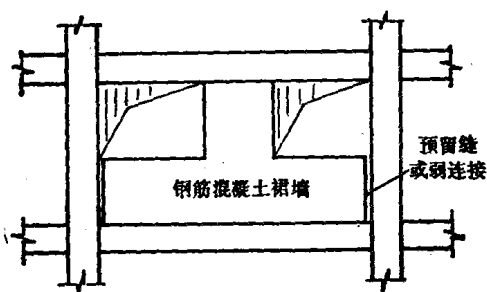


图 2-6

第二节 框架剪力墙结构体系

框架剪力墙结构（简称框剪结构）是框架、剪力墙和楼盖协同工作的空间结构体系。历次大地震的经验证明，框剪结构是一